

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

1
BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PCT/EP 01/01932

107019812 #12

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 04 APR 2001

WIPO

PCT

EP 01/1932
4

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Gebrauchsmusteranmeldung**

Aktenzeichen:

200 03 515.0

Anmeldetag:

28. Februar 2000

Anmelder/Inhaber:

VAW aluminium AG, Bonn/DE

Bezeichnung:

Laufflächenbehandlungsanlage

IPC:

B 23 K, C 21 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Gebrauchsmusteranmeldung.

München, den 18. Januar 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Laufflächenbehandlungsanlage

Schutzansprüche

1. Laufflächenbehandlungsanlage für Aluminiumgußteile, insbesondere Motorblöcke, bestehend aus einer drehbaren Spannvorrichtung (1) für einen Zylinderblock (2), einer Laserbehandlungseinheit (3) mit einem Strahlkopf (4), die mit einer Pulverzuführungsvorrichtung (5) verbunden ist, und einer Transfereinheit, die den Zylinderblock (2) vor der Laserbehandlungseinheit (3) positioniert und einem Antrieb (6) für die Bewegung der Transfereinheit entlang einer Transferachse (10),

dadurch gekennzeichnet,

daß die Aufspannebene der Spannvorrichtung (1) senkrecht zur Strahlrichtung der Lasereinheit (3) ausgerichtet ist,

daß die Lasereinheit (3) senkrecht zur Aufspannebene der Spannvorrichtung (1) verschiebbar ist, wobei die Strahlrichtung senkrecht zur Transferachse (10) in einem Winkel $< 45^\circ$ zum Schwerkraftvektor ausgerichtet ist,

daß die Pulverzugabe (5) entweder direkt in Strahlrichtung der Lasereinheit (3) oder (in Vorschubrichtung gesehen) kurz vor der Strahlaufftreffzone (12) mündet.

2. Laufflächenbehandlungsanlage nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Transfereinheit als Transferstraße ausgebildet ist, wobei eine Eingangsschleuse (15) und eine Ausgangsschleuse (16) vorgesehen ist, die mit einer Kipp- und Wendeeinrichtung (17, 18) jeweils verbunden sind,

daß die Kipp- und Wendeeinrichtungen (17, 18) die einzelnen Zylinderblöcke aus einer aufrechten Position mit senkrechter Zylinderbohrungsachse in eine liegende Position mit horizontal verlaufender Zylinderbohrungsachse bringen und daß mehrere Spannvorrichtungen (1.1 bis 1.4) vorgesehen sind, die den jeweils zu bearbeitenden Zylinderblock (2.1 bis 2.4) achssymmetrisch zur Lasereinheit (3.1 bis 3.4) spannen.

3. Laufflächenbehandlungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß zwischen den Spannvorrichtungen (1.1 bis 1.4) Puffer (19.1 bis 19.3) angeordnet sind, die die unterschiedlichen Taktzeiten in der Bearbeitungszone (5.1 bis 5.4) ausgleichen.

4. Laufflächenbehandlungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß eine Laserbehandlungseinheit (3) aus mehreren Strahl-einrichtungen besteht, die in eine Zylinderbohrung einfahrbar sind, wobei mehrere Bearbeitungszonen auf der Zylinder-

wand hintereinander (in Zylinderachsrichtung gesehen) angeordnet sind.

5. Laufflächenbehandlungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Pulverzuführungseinrichtung (5) aus mehreren Zugabeeinrichtungen besteht, die in eine Zylinderbohrung einfahrbar sind, wobei die Zugabeöffnungen hintereinander (in Zylinderachsrichtung gesehen) angeordnet sind.

Laufflächenbehandlungsanlage

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Laufflächenbehandlungsanlage für Aluminiumgußteile, insbesondere Motorblöcke, bestehend aus einer drehbaren Spannvorrichtung für einen Zylinderblock, einer Laserbehandlungseinheit mit einem Stahlkopf, die mit einer Pulverzuführungsvorrichtung verbunden ist, und einer Transfereinheit, die den Zylinderblock vor der Laserbehandlungseinheit positioniert und einem Antrieb für die Bewegung der Transfereinheit entlang einer Transferachse.

Für derartige Laufflächenbehandlungsanlagen bestehen hohe Anforderungen an die Präzision hinsichtlich der Ausrichtung der Anlagenteile und deren Verschleißverhalten, da die damit hergestellten Motorblöcke später mit separat hergestellten Kolben ausgerüstet werden und aus Kostengründen möglichst auf eine aufwendige Nachbehandlung verzichtet werden soll.

In zahlreichen Versuchen wurde festgestellt, daß eine hohe Genauigkeit und ein geringes Verschleißverhalten der Laufflächenbehandlungsanlage und der darauf produzierten Teile dann erreicht werden kann, wenn

1. die Aufspannebene der Spannvorrichtung 1 parallel zur Strahlrichtung der Lasereinheit 3 ausgerichtet ist,
2. die Lasereinheit 3 senkrecht zur Aufspannebene der Spannvorrichtung 1 verschiebbar ist, wobei die Strahlrichtung

senkrecht zur Transferachse 10 in einem Winkel $\alpha < 45^\circ$ zum Schwerkraftvektor ausgerichtet ist und

3. die Pulverzugabe 5 entweder direkt in Strahlrichtung der Lasereinheit 3 oder (in Vorschubrichtung gesehen) kurz vor der Strahlauftreffzone 12 mündet.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Laufflächenbehandlungsanlage zu einer Transferstraße weitergebildet, wobei mehrere Transfereinheiten zu einer Transferstraße zusammengefaßt sind. Die Transferstraße weist eine Eingangsschleuse 15 und eine Ausgangsschleuse 16 auf, die jeweils mit einer Kipp- und Wendeeinrichtung 17, 18 verbunden sind. Die Kipp- und Wendeeinrichtungen 17, 18 bringen die einzelnen Zylinderblöcke aus einer aufrechten Position mit senkrechter Zylinderbohrungsachse in eine liegende Position mit horizontal verlaufender Zylinderbohrungsachse. Es sind mehrere Spannvorrichtungen 1.1 bis 1.4 vorgesehen, die den jeweils zu bearbeitenden Zylinderblock 2.1 bis 2.4 achssymmetrisch zur Lasereinheit 3.1 bis 3.4 spannen.

Es ist besonders vorteilhaft, wenn zwischen den Spannvorrichtungen 1.1 bis 1.4 Puffer 19.1 bis 19.3 angeordnet sind, die die unterschiedlichen Taktzeiten in der Bearbeitungszone 5.1 bis 5.4 ausgleichen.

Für eine kostengünstige Bearbeitung in der Laufflächenbehandlungsanlage ist vorgesehen, daß eine Laserbehandlungseinheit 3 aus mehreren Strahleinrichtungen besteht, die in eine Zylinderbohrung einfahrbar sind, wobei mehrere Bearbeitungszonen auf der Zylinderwand hintereinander (in Zylinderachsrichtung gesehen) angeordnet sind.

Ferner kann die Produktionskapazität der Laufflächenbehandlungsanlage dadurch verbessert werden, daß die Pulverzuführungseinrichtung 5 aus mehreren Zugabeeinrichtungen besteht, die in eine

Zylinderbohrung einfahrbar sind, wobei die Zugabeöffnungen hintereinander (in Zylinderachsrichtung gesehen) angeordnet sind.

Im folgenden wird die Erfindung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Laufflächenbehandlungsanlage während der Behandlung eines Zylinderblockes,

Figur 2 Längsschnitt durch eine erfindungsgemäße Laufflächenbehandlungsanlage während des Einfahrens in einen 4-Zylinder-Reihenmotorblock,

Figuren 3 - 5 Ausschnitt X gemäß Figur 2 in vergrößerten Darstellungen,

Figur 6 Querschnitt analog zu Figur 1 mit 2 Strahlköpfen.

In Figur 1 ist in einer Spannvorrichtung 1 ein Zylinderblock 2 eines 4-Zylinder-Reihenmotors so eingespannt, daß die Längsachse des Reihenmotors in Schwerkraftvektorrichtung zeigt.

Eine Laserbehandlungseinheit 3 ragt mit dem Strahlkopf 4 in die Bohrung des Zylinderblockes 2 hinein. Der Strahlkopf ist in Richtung einer Transferachse 10 (senkrecht zur Zeichnungsebene) verschiebbar.

Aus dem Strahlkopf 4 tritt in Schwerkraftrichtung ein Laserstrahl aus, der in der Strahlauftreffzone 12 auf die Oberfläche der Zylinderwand trifft und dort eine Erwärmungszone 11, eine Schmelzzone 12 und eine Erstarrungszone 13 bildet.

Im Bereich der Strahlauftreffzone mündet auch eine Pulverzuführungsvorrichtung 5, mit der ein Pulverstrahl 9 entweder direkt

in Strahlrichtung oder - in Vorschubrichtung gesehen - kurz vor dem Auftreffpunkt der Laserstrahlen auf die zu behandelnde Zylinderwand aufgebracht wird. Mit der Aufbringung des Pulvers können die Gefügeeigenschaften sowohl von der Legierungsseite her als auch von der Art der Gefügeausbildung beeinflusst werden. Dies geschieht z. B. durch Art und Menge des zugeführten Pulvers.

In einer nicht dargestellten Variante können mehrere Pulverzuführungsvorrichtungen gleichzeitig in die Zylinderbohrung eingebracht werden. Auch die Laserbehandlung kann über mehrere Strahlköpfe gleichzeitig erfolgen.

Figur 2 zeigt eine erfindungsgemäß ausgebildete Laufflächenbehandlungsanlage in einem 4-Zylinder-Reihenmotor. Man erkennt den Zylinderblock 2 im Längsschnitt - also senkrecht zur Abbildungsebene nach Figur 1. Die Spannvorrichtung 1 ist auf einem Spanntisch 1a und einem Drehteller 1b angeordnet, der mit einem Antrieb 6 für die Bewegung der Transfereinheit entlang einer Transferrachse 10 verbunden ist.

Die Pfeilrichtung 6a gibt an, in welche Richtung der Motorblock 2 bei der Behandlung durch den Laserkopf 4 gedreht wird. Hierbei ist es wichtig, daß die Pulverzuführungsvorrichtung 5 vor dem Laserkopf 4 positioniert ist, wie in Figur 2, Ausschnitt X, dargestellt.

Über eine Spindel 7 wird die Einfahrbewegung des Laserkopfes 4 in die Zylinderbohrung bewirkt. Die Achsparallelität zwischen Zylinderbohrungsachse und Drehachse 10 ist wichtig für die Einhaltung der Fertigungstoleranzen. Sie wird durch die Schlittenführungen 7a, 7b sichergestellt, auf denen die Laserbehandlungseinheit 3 über entsprechende Gegenführungen in den Zylinderblock 2 ein- und ausgefahren wird.

Die Ausschnittsvergrößerungen nach Figuren 3 - 5 zeigen noch einmal die Erwärmungszone 9/11, die Schmelzzone 12 und die Erstarrungszone 13 in vergrößerter Darstellung. Die flächenmäßige Ausdehnung der einzelnen Zonen, bzw. Bereiche, kann durch die Drehgeschwindigkeit des Zylinderblockes 2, der Bewegung der Transfereinheit entlang der Transferachse 10 und durch die Anzahl der Laserbehandlungseinrichtungen bzw. der Strahleinrichtungen sowie der Pulverzuführungsvorrichtungen beeinflusst werden.

Während in Figur 3 nur ein Brennfleck 8 für den einfachen Laserstrahlkopf 4 vorhanden ist, zeigt Figur 4 zwei Brennflecke 8a, 8b. Hierfür wird die Laserbehandlungseinheit mit zwei Strahleinrichtungen gemäß Anspruch 4 ausgestattet.

In Figur 5 ist eine Doppelspur mit zwei versetzten Brennflecken 8a, 8b und je zwei Schmelz- und Erstarrungsfronten 12, 13 dargestellt. Diese Variante erfordert eine Mehrfachpulverzuführung, wie sie im Anspruch 5 beschrieben und in Figur 6 dargestellt ist. Mit Bezugszeichen 9/11 ist die Pulverzuführung in der Vorwärmzone bezeichnet. Da man die Strahlköpfe 4.1 und 4.2 schwenken kann, sind die Schwenkwinkel mit α_1 und α_2 angegeben.

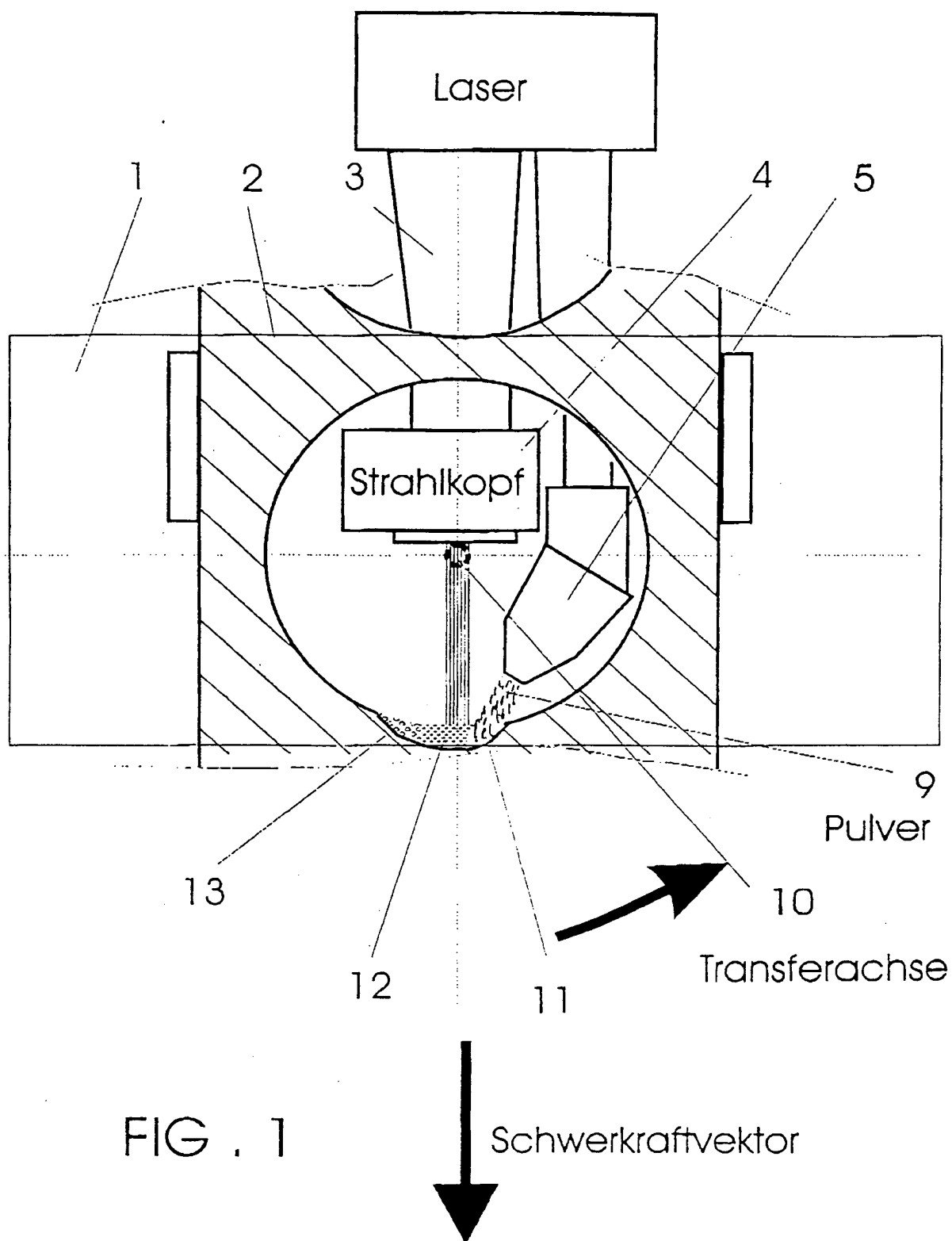
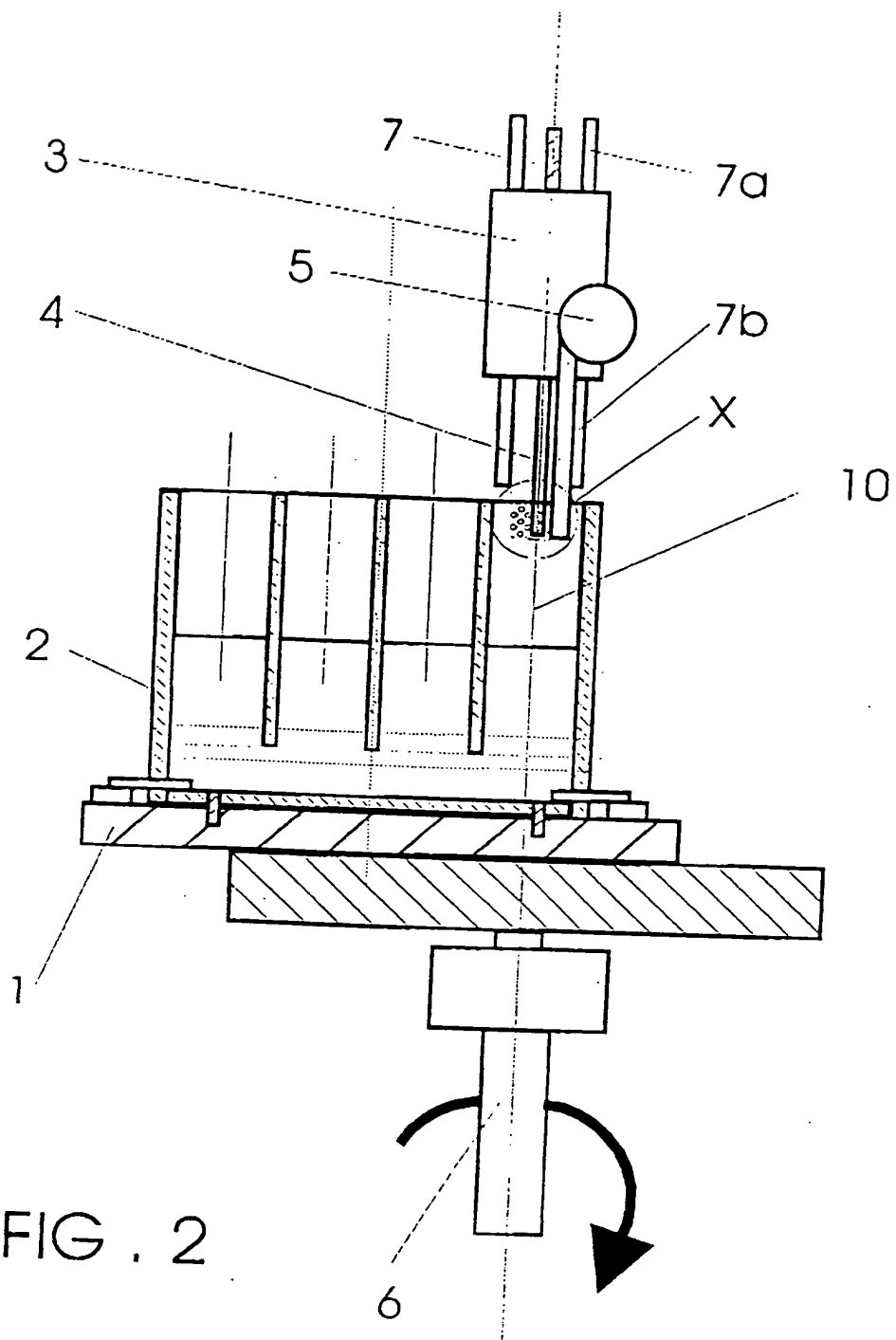


FIG . 1



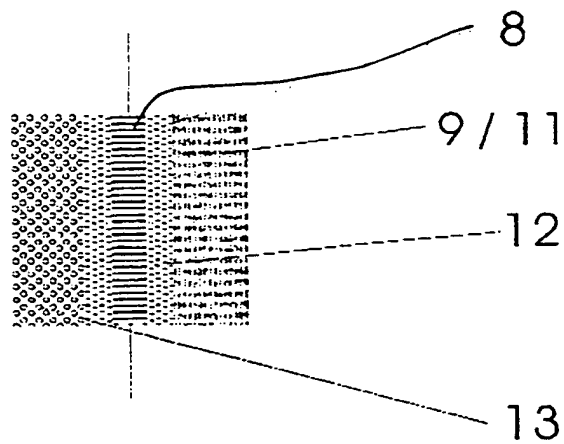


FIG. 3

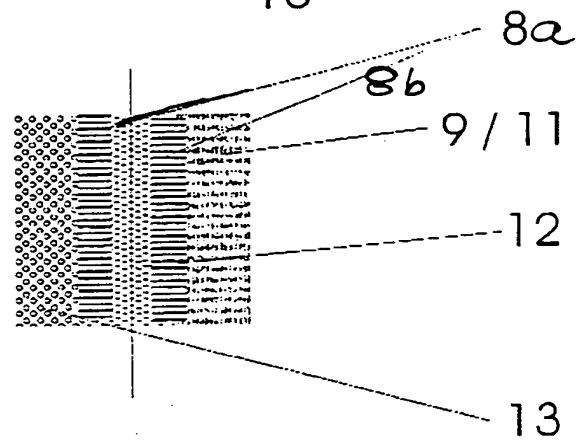


FIG. 4

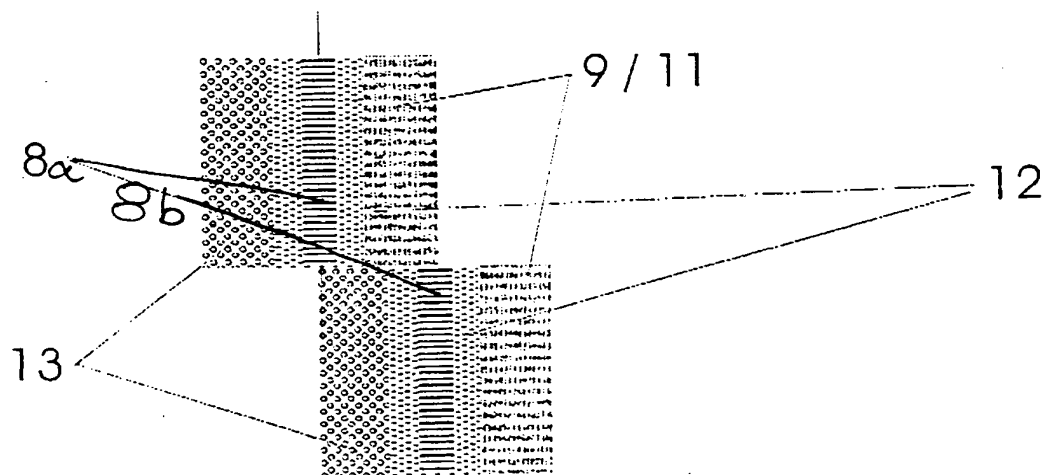
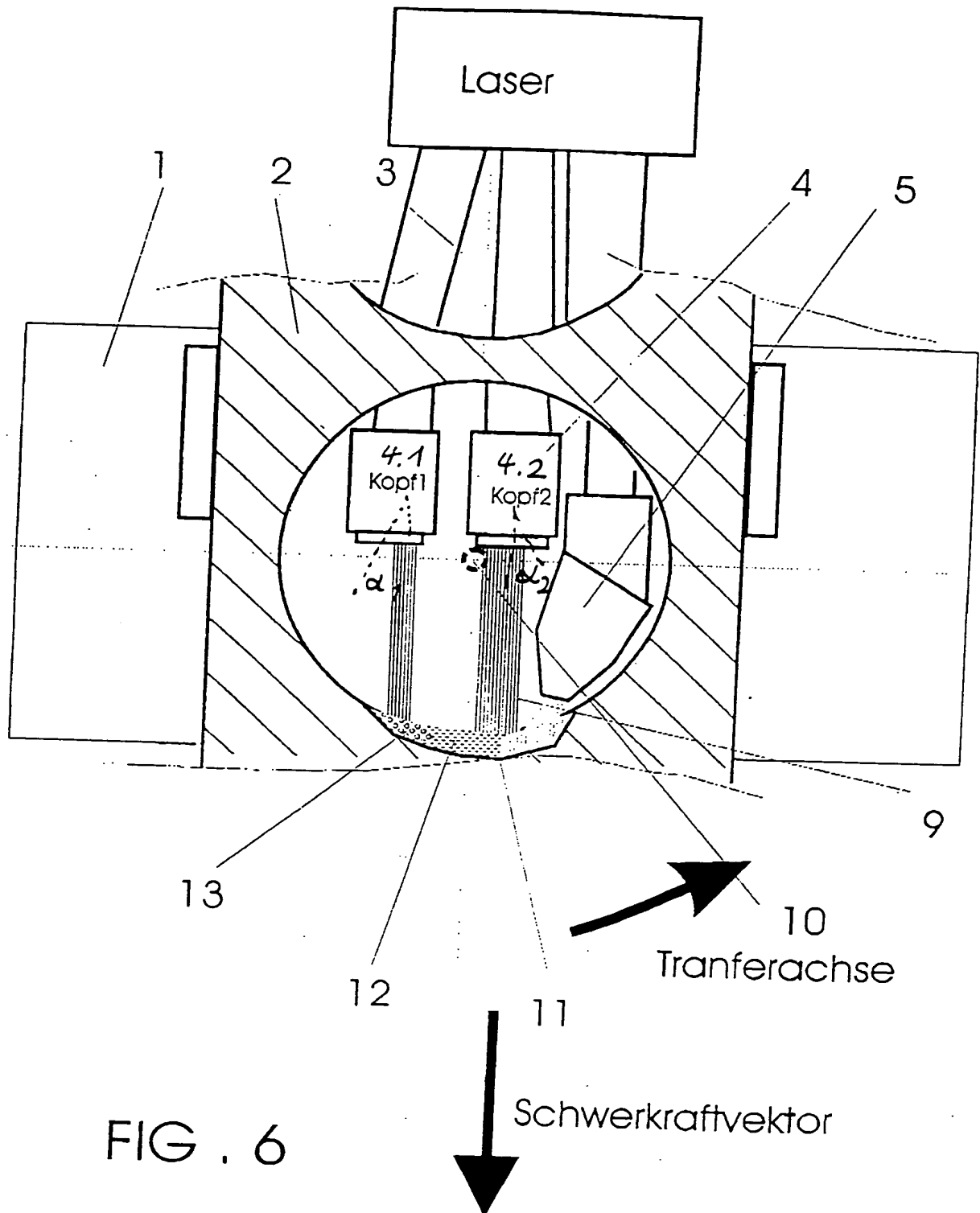


FIG. 5





9

PCT/EP 01/01932

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

10/019812

#2

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



| |
|--------------------|
| REC'D 04 AVR. 2001 |
| WIPO PCT |

EP 01/1932

4

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 100 09 250.0

Anmeldetag: 28. Februar 2000

Anmelder/Inhaber: VAW aluminium AG, Bonn/DE

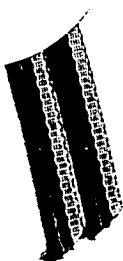
Bezeichnung: Oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches Bauteil, Verfahren und Vorrichtung zu seiner Herstellung

IPC: C 23 C 24/10

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 14. Februar 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wehner



Oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches
Bauteil, Verfahren und Vorrichtung zu seiner Herstellung

Patentansprüche

1. Oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches
Bauteil, bestehend aus einer Aluminiummatrixgußlegierung
und einer bis an die Bauteiloberfläche reichenden Ausschei-
dungszone aus einer Aluminium-Basislegierung mit ausge-
schiedenen Hartphasen,

dadurch gekennzeichnet,

daß zwischen Matrix und Ausscheidungszone eine durch primä-
re Hartphasen übersättigte, eutektische Zone (im folgenden:
Übergangszone) vorliegt und der Härteanstieg von der Matrix
bis zur Bauteiloberfläche stufenweise erfolgt.

2. Bauteil nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Matrixlegierung vom Typ AlSiCu untereutektisch ist
und in der übersättigten, eutektischen Übergangszone eine
Legierung vom Typ AlSi mit fein ausgeschiedenen Primärsili-
ziumphasen $< 1 \mu$ vorliegt, während in der Ausscheidungszone
Primärsiliziumphasen von 2 - 20 μ vorliegen, wobei der
Härteanstieg bis zur Bauteiloberfläche mindestens 200 %
beträgt.

3. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Schichtdickenverhältnis gemessen von der Oberfläche des Bauteils in Richtung Aluminiummatrix zwischen Ausscheidungszone und Übergangszone größer 2 : 1 ist.
4. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Härteanstieg zwischen der Matrix und der Bauteiloberfläche stufenweise erfolgt, wobei der Härteanstieg in der Matrix, in der Übergangszone und im Ausscheidungsbe-
reich sich verhält wie 1 : 1,5 : 2 bis 1 : 2 : 3 und die Endhärte auf der Bauteiloberfläche bei über 200 HV liegt.
5. Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten, zylindrischen oder teilzylindrischen Bauteiles, wobei ein Energiestrahls mit einer linienförmigen Strahlfläche, im folgenden Linienfokus genannt, auf eine Werkstückoberfläche gerichtet, dadurch die Werkstückoberfläche aufgeschmolzen und ein Hartstoff- oder ein Legierungspulver in die aufgeschmolzene Oberfläche zugeführt wird,
dadurch gekennzeichnet,
daß
- a) in der Auftreffzone des Energiestrahls ein lokal begrenztes Schmelzbad mit einer Erwärmungs- und Aufschmelzfront, einer Lösungszone und einer Erstarrungsfront erzeugt wird,

- b) seitlich vom Energiestrahle eine Si-Pulvermenge oder Hartstoffpulvermenge in Schwerkraftrichtung aufgebracht und mit der Vorschubbewegung des Werkstücks koordiniert in einer Breite zugeführt wird, die der Breite des Linienfokus entspricht,
- c) die auf der Werkstückoberfläche zugeführte Si-Pulvermenge in der Erwärmungsfront des Schmelzbades mit einem Energiestrahle mit einer Wellenlänge von 780 - 940 nm aufgeheizt und im Kontakt mit der verflüssigten Matrixlegierung die Pulvermenge sofort in das Schmelzbad eindiffundiert wird,
- d) durch den Energiestrahle mit einer spezifischen Leistung von mindestens 10^5 W/cm^2 eine Konvektion in der Lösungszone erzeugt wird, so daß der Homogenisierungsvorgang in der Schmelzzone beschleunigt wird,
- e) wobei der Linienfokus solange auf die Lösungszone einwirkt, bis das Hartstoff- oder Legierungspulver im Schmelzbad gleichmäßig verteilt ist,
- f) das gleichmäßig verteilte Pulvermaterial, welches metallurgisch in Lösung gegangen ist, einer gerichteten Erstarrung in der Erstarrungsfront mit hoher Abkühlungsgeschwindigkeit von 200 - 600 K/sec unterworfen wird bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 500 - 5000 mm/min.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

daß die im Verfahrensschritt b) zugesetzten Hartstoff- oder Pulvermengen im Gasstrom zur Bauteiloberfläche befördert werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß der Energiestrahл vor der Auftreffzone geteilt wird,
wobei ein erster Teilstrahl in die Erwärmungszone und
Aufschmelzzone und ein zweiter Teilstrahl hinter die Er-
starrungsfront zur thermischen Gefügebehandlung gelenkt
wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß der Energiestrahл in der Erstarrungsfront zur Steuerung
des Ausscheidungsgefüges mit einer spezifischen Leistung
von $< 1 \text{ KW/cm}^2$ intermittierend auf die Werkstückoberfläche
gerichtet ist.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Einwirkungszeit des Energiestrahls im Schmelzbad
zur Lösung und homogenen Verteilung der Hartstoff- oder
intermetallischen Phasen zwischen 0,02 und 1 Sekunde be-
trägt.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß als Energiestrahл ein Diodenlaser von $> 3 \text{ KW}$ mit einer
einstellbaren Linienfokus-Breite verwendet wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß vor Beginn und am Ende einer Beschichtung der Energiestrahle und die Pulvermenge in der Linienfokus-Breite quer zur Vorschubrichtung reduziert wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß das Werkstück als Hohlzylinder ausgebildet ist und während der Beschichtung in Wannenlage um den Energiestrahle rotiert, wobei der Energiestrahle, der in bezug auf die Rotationsrichtung ortsfest gehalten wird, eine kontinuierliche Vorschubbewegung während der Rotation in Richtung der Rotationsachse zur Erzeugung einer flächigen Einlegierungszone vollzieht.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß am Beginn des Einlegierens der Energiestrahle punktförmig ausgebildet ist und sich zusammen mit der Pulvermenge kontinuierlich vergrößert, bis er nach einer Umdrehung des Werkstücks die volle Linienfokus-Breite erreicht hat.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß bei Beendigung der Einlegierung während des letzten Umlaufs des Werkstücks die Linienfokus-Breite und die Pulvermenge kontinuierlich auf Null reduziert werden.

15. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, bestehend aus einer Werkstückspannvorrichtung, auf der ein Werkstück über Indexbohrungen und/oder über Bearbeitungsflächen ausgerichtet und eingespannt wird, auf die ein fokussierbarer Strahlkopf und eine Pulverzuführung gerichtet ist, gekennzeichnet durch eine in Zylinderachse eingefahrene Energiestrahleinrichtung, die auf der drehbaren, mit einer Antriebseinheit verbundenen Werkstückspannvorrichtung angeordnet ist, wobei der Energiestrahlel als Linienfokus senkrecht auf das in Wannenlage rotierende Werkstück gerichtet ist.
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Energiestrahleinheiten versetzt zueinander auf die Bearbeitungsfläche des in Wannenlage rotierenden Werkstücks gerichtet sind, wobei die Energiestrahleinheiten die Bearbeitungsfläche zeilenförmig überstreichen.
17. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Energiestrahleinheiten mehrere Zeilen der Bearbeitungsfläche gleichzeitig überstreichen.
18. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Energiestrahleinrichtung bezogen auf die Drehrichtung ortsfest innerhalb der drehbaren, mit einer Antriebs-

einheit verbundenen Werkstückspannvorrichtung angeordnet ist, wobei der Energiestrahle aus dem Energiestrahlkopf im rechten Winkel auf die Werkstückoberfläche gerichtet ist,

daß die Pulverzuführungseinrichtung seitlich neben der Energiestrahleinrichtung angeordnet ist und eine stechende oder schleppende Pulverzuführung vorgesehen ist.

19. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß das Pulver auf die dem Strahl zugewandte Oberfläche entweder geblasen oder in Schwerkraftrichtung lose aufgerieselt wird.

20. Vorrichtung nach Anspruch 18,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Antriebseinheit für das Werkstück eine variable Drehzahl ermöglicht, wobei die Vorschubrichtung der Energiestrahlvorrichtung und der Pulverzufuhr in Rotationsachsenrichtung mit der Drehgeschwindigkeit des Werkstückes kombiniert wird, um wendelförmige oder andere geometrische Führungen des Linienfokus auf der Werkstückoberfläche zu erreichen.

VAW aluminium AG
Georg-von-Boeselager-Str. 25
53117 Bonn

28. Februar 2000
MW/scb (all01615)
P99927DE00

Oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches
Bauteil, Verfahren und Vorrichtung zu seiner Herstellung

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches Bauteil, bestehend aus einer Aluminium-matrixgußlegierung und einer bis an die Bauteiloberfläche reichenden Ausscheidungszone aus einer Aluminium-Basislegierung mit ausgeschiedenen Hartphasen sowie ein Verfahren und eine Vorrichtung zu seiner Herstellung.

Aus der WO 97/10067 ist ein Verfahren zur Beschichtung metallischer Werkstücke bekannt, bei dem metallhaltiges Pulver mit einem Laserstrahl aufgeschmolzen und dann auf die Oberfläche des metallischen Werkstücks aufgetragen wird. Gemäß Patentanspruch 1 der WO-Schrift soll das Pulver coaxial zu dem Laserstrahl in den Schmelzebereich geführt werden und in Form von 0,1 bis 1 mm breiten Spuren über eine größere Fläche verteilt werden.

Zur Durchführung des bekannten Verfahrens ist gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der WO 97/10067 eine Vorrichtung zur Pulverzuführung coaxial an einem Laserstrahl-Fokussierkopf angeordnet, so daß das Werkstück und der Laserstrahl-Fokussierkopf relativ zueinander in dreiachsiger Richtung verfahrbar sind. Die Verfahrbarkeit ist jedoch wegen der erforderlichen Regeltechnik nur eingeschränkt möglich.

Für eine großtechnisch einsetzbare Beschichtungsanlage sind Spurbreiten von 0,1 bis 1 mm unwirtschaftlich und dreiachsig

bewegliche Vorrichtungen zu aufwendig. Außerdem können mit der bekannten Vorrichtung nicht unmittelbar größere Flächen, wie z.B. Innenlaufflächen von Zylinderwandungen, beschichtet werden.

Ein weiteres Verfahren zur Beschichtung von Innenlaufflächen von Zylinderwandungen ist aus der DE-OS 198 17 091 bekannt. Gemäß Patentanspruch 1 der Offenlegungsschrift werden verschleißbeständige Oberflächen auf den Innenkolbenlaufflächen von Leichtmetallmotorblöcken dadurch erzeugt, daß eine Sonde für die kontinuierliche Zuführung von Siliziumpulver verwendet wird, in der ein Energiestrahл mit einem spiralig über die Oberfläche wandernden Strahlfleck relativ zum ortsfest gehaltenen Leichtmetallmotorblock bewegt wird. Bei einer Laserlichtleistung von ca. 2 kW und einem Strahlfleck-Durchmesser von ca. 0,5 bis 2 mm wird ca. 10 g Pulver pro Minute auf die Oberfläche gebracht und einlegiert. Dadurch kann bei einer Eindringtiefe von ca. 1 mm ein Hartstoffanteil von 20 bis 50 % in die Oberfläche einlegiert werden.

Es wurden ferner Versuche zur Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung eines Leichtmetallzylinderblocks durchgeführt, bei denen ein Laserstrahl mit einer Streifenbreite quer zur Vorschubrichtung von mindestens 2 mm über die ortsfest gehaltene Leichtmetallmatrixoberfläche geführt wird. Das Pulver wird dabei erst im Auftreffpunkt des Laserstrahls auf die Leichtmetallmatrixoberfläche auf Schmelztemperatur aufgeheizt und dann eindiffundiert. In der Auflegierungszone wird Primärsilizium gebildet, wobei eine mittlere Schichtdicke von 150 bis 650 μm in der Matrixlegierung als bevorzugt angegeben ist. Die Laserlichtleistung beträgt vorzugsweise 3 bis 4 kW, wobei auch linienförmige Fokussiersysteme eingesetzt werden können.

Das mit dem obengenannten Verfahren erzielbare Gefüge besteht aus einer Leichtmetallmatrixlegierung mit einer feindispersen, Primärsiliziumausscheidungen enthaltene Oberflächenschicht, die rundlich geformte Körner mit einem mittleren Korndurchmesser

zwischen 1 und 10 μm aufweist. Neben der reinen Aluminiumphase enthält die Oberflächenschicht noch 10 bis 14 % AlSi-Eutektikum und 5 bis 20 % Primärsilizium, wobei die Mindesthärte ca. 160 HV beträgt.

Für bestimmte Einsatzzwecke werden Thermoschock-unempfindliche Bauteile verlangt. Dies läßt sich mit bisher bekannten Herstellungsverfahren nur durch sehr aufwendige Behandlungsmaßnahmen erreichen. Kennzeichnend für derartige hochbelastbare Bauteile ist ein langsamer Härteanstieg aus der Matrix bis in die Oberflächenschicht, wobei der Gesamthärteanstieg über einen Bereich von 200 % bezogen auf die Ausgangshärte der Matrixlegierung reichen sollte.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein wirtschaftliches, großtechnisch anwendbares Oberflächenbehandlungsverfahrens für zylindrische oder teilzylindrische Oberflächenformen zu entwickeln, mit dem ein tribologisch optimierter, wärmebehandelbarer Hohlzylinderrohling mit neuen Gefügeeigenschaften und oberflächennahen Werkstoffveränderungen herstellbar ist. Die neuen Gefügeeigenschaften und oberflächennahen Werkstoffveränderungen sollen insbesondere eine Anwendung des Gußrohlinges im Bereich von schwingungsbelasteten Bauteilen, wie z.B. Verschleißflächen von Bremssteilen, Gleit- und Reibflächen aller Art, ermöglichen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die in den Patentansprüchen angegebenen Merkmale gelöst. Es hat sich gezeigt, daß ein Bauteil mit den gewünschten Eigenschaften durch eine Kombination von

- a) Linienfokus mit Linienbreiten quer zur Vorschubrichtung von größer 4 mm,
- b) Hochenergiestrahl mit einer Wellenlänge zwischen 780 und 940 nm und eine
- c) Pulverzugabe in der Wannenlage verbunden mit einer spezifischen Energieeinbringung von 5000 - 500000 W/cm² herstellbar ist.

Zur gesteuerten Si-Kornverteilung und Ausbildung von Siliziumprimärkristallen bei Phasendurchmessern von bis zu 80 μm in der eutektisch erstarrenden Restschmelze trägt

d) die Abkühlungsgeschwindigkeit 200 - 600 K/sec bei.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung können mehrere Energiestrahleinheiten als weitere Parameter zur Steuerung der Gefügeeigenschaften durch räumlich veränderbare Abkühlungsgeschwindigkeiten genutzt werden.

Dadurch sind räumlich unterschiedliche Oberflächenhärten einstellbar, die eine rein mechanische Weiterbearbeitung ermöglichen. Wenn die Oberflächenhärte größer 160 HV wird, kann mit Diamantwerkstoff ohne Riefenbildung und ohne Verschmieren gehobelt werden. Dabei können in einem weiteren Bearbeitungsgang rein mechanisch die Siliziumprimärkristalle oder andere Hartstoffe mit $< 1 \mu\text{m}$ an der Oberfläche freigelegt werden.

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel soll der Linienfokus in Doppelspur hintereinander (bezogen auf die Vorschubrichtung) auf die zu legierende Oberfläche gerichtet werden, so daß eine partielle Wärmebehandlung (Härtung, Rekristallisation, Verlängerung der Ausscheidungszeit und insbesondere die erzeugte Schichtdicke mit Primärausscheidungen) möglich wird.

Gemäß einem weiteren bevorzugten Anwendungsfall kann auch die Pulverkomponente in einer Doppelspur aufgetragen werden, so daß hier unterschiedliche Zusammensetzungen und Auftragsraten möglich sind, z.B. Aufbau von Gradientenwerkstoffen mit gesteuerter Legierungsbildung.

Für das Anfahren und Abschalten der Beschichtungseinrichtung wird in bevorzugter Weise eine regelbare Blende eingesetzt, die zur Verlängerung oder Verkürzung der Linienfokus-Breite in Vorschubrichtung gesehen dient.

Im Gegensatz zu der bekannten Beschichtungsvorrichtung gemäß DE 198 17 091 A1 (NU TECH/VAW motor GmbH) wird mit einer einachsigen beweglichen Energiestrahlvorrichtung und einem mehrachsigen beweglichen Bauteil gearbeitet. Hierbei ist es von besonderem Vorteil, daß die Drehgeschwindigkeit des Werkstückes veränderbar ist, um ein grobphasiges Gefüge (durch langsame Drehung) oder ein feinzelliges bzw. feinphasiges Gefüge (durch schnelleres Drehen) bei gleichem Energieeintrag zu verwirklichen.

Wie bereits erwähnt, kann eine Doppelspur zum Einlegieren verschiedener Legierungstypen in einer Auftragsbeschichtung verwendet werden. Das Pulver kann einstufig (ein Pulverstrahl) oder mehrstufig (mehrere Pulverstrahle) über entsprechend geformte Pulverschlitzdüsen auf die Werkstückoberfläche aufgebracht werden. Die Linienfokus-Breite beträgt mindestens 4 mm, vorzugsweise 5 bis 15 mm.

Eine Besonderheit des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß variable Eindringtiefen zwischen 100 - 2500 μm durch Veränderung der Vorschubgeschwindigkeit und/oder durch den flächenbezogenen Energieeintrag darstellbar sind. Zur verbesserten Einkoppelung wird vorzugsweise ein Diodenlaser mit dem im Anspruch angegebenen Wellenlängenbereich verwendet, der in Verbindung mit einem vorher aufgetragenen Hartstoffpulver eine hervorragende Wärmeeinbringung in die Tiefe des Bauteils ermöglicht.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von zwei Ausführungsbeispielen bei Verwendung von Silizium als Hartstoffpulver näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 Querschnitt durch ein erfindungsgemäß mit drei Zonen ausgebildetes oberflächenlegiertes Bauteil;

Fig. 2 Härteverlauf entlang der Koordinate Y in Figur 1;

Fig. 3 Prinzipbild zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens.

Figur 1 zeigt ausschnittsweise ein erfindungsgemäß hergestelltes Bauteil mit einer Aluminiummatrix 1, einer Übergangszone 2 und einer Ausscheidungszone 3. In der Ausscheidungszone 3 führen viele feine Hartstoffpartikel zu einer besonders harten Oberfläche mit $HV > 250$. Die Bauteiloberfläche 4 kann beispielsweise eine Lauffläche für Kolben, Wellen oder Lagerteile bilden und ist durch rein mechanische Bearbeitung in einem betriebsfertigen Zustand gebracht worden.

In der Übergangszone 2 liegt ein homogenes, übersättigtes Aluminium-Silizium-Gußgefüge vor, das eine einheitliche Graufärbung zeigt. Bis hierhin reicht der Wärmeeinfluß des auf die Oberfläche gerichteten Energiestrahls und bildet eine Aufschmelzfront.

Über die Matrix 1 wird die während der Oberflächenlegierung in das Bauteil eingebrachte Wärme abgeführt. Die Wärmebilanz kann durch Vorschubgeschwindigkeiten, durch Energiesteuerung und durch Kühlungsmaßnahmen beeinflußt werden.

In Figur 2 ist der Härteverlauf eines erfindungsgemäß hergestellten Bauteiles im Bereich der Bauteiloberfläche dargestellt. Die Härte beginnt im vorliegenden Fall bei 100 HV in der Matrix und steigt stufenförmig auf den Maximalwert von 240 HV. Mit diesem Härteverlauf ist ein verbessertes Thermoschockverhalten verbunden.

Ein härterer Phasenbereich aus Si-legiertem Primärsilizium wird auf einer elastischeren, weicheren Matrixlegierung abgefedert.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten, zylindrischen oder teilzylindrischen Bauteiles besteht darin, daß zunächst ein Energiestrahls mit einer linienförmigen Strahlfläche (auch Linienfokus genannt) auf eine Werk

stückoberfläche gerichtet wird. Dabei wird die Werkstückoberfläche aufgeschmolzen und ein Hartstoff- oder ein Legierungspulver in die aufgeschmolzene Oberfläche zugeführt.

Wie Figur 3 zeigt, bildet sich in der Auftreffzone des Energiestrahls ein lokal begrenztes Schmelzbad mit einer Erwärmungs- und Aufschmelzfront 20, einer Lösungszone bzw. Umschmelzzone 21 und eine Erstarrungsfront 22 aus.

Seitlich vom Energiestrahle 23 wird eine Pulvermenge 24 in Schwerkraftrichtung auf die Oberfläche des Bauteils 26 eingebracht. Die Menge des Pulvers 24 wird mit der Vorschubbewegung 27 des Werkstücks oder Bauteils 26 koordiniert, wobei die Pulverstrahlbreite quer zur Bildebene von Figur 3 in etwa der Breite des Energiestrahls 23 entspricht (ebenfalls gemessen in Querrichtung zur Bildebene).

Man erkennt aus Figur 3, wie die auf der Werkstückoberfläche zugeführte Pulvermenge in der Erwärmungsfront aufgeschmolzen und in das Schmelzbad eingetaucht wird. Versuche haben ergeben, daß bei einer Wellenlänge von 780 bis 940 nm der Energiestrahle optimiert einkoppelt, so daß das Pulver schnell aufgeheizt und im Kontakt mit der verflüssigten Matrixlegierung in das Schmelzbad eindiffundiert wird.

Wie die Pfeile 28 in Figur 3 andeuten, tritt eine Konvektion in der Lösungszone auf, so daß der Homogenisierungsvorgang in der Schmelzzone beschleunigt wird. Dies wird ermöglicht durch den Energiestrahle mit einer spezifischen Leistung von mindestens 10^5 W/cm². An Schliffbildern ist zu erkennen, daß das Hartstoff- oder Legierungspulver im Schmelzbad nur dann gleichmäßig verteilt ist, wenn der Linienfokus ausreichend lange auf die Lösungszone eingewirkt hat. Die genauen Werte lassen sich im Versuch ermitteln.

Das gleichmäßig verteilte Pulvermaterial wird dann in der Erstarrungszone 22 einer gerichteten Erstarrung mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit in der Erstarrungsfront von 200 bis 600 K/sec unterworfen, wobei die Vorschubgeschwindigkeit zwischen 500 und 5000 mm/min beträgt. In einer vorteilhaften Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Pulver im Gasstrom auf die Bauteiloberfläche befördert, so daß durch die kinetische Energie bereits eine bestimmte Pulvermenge in die Aufschmelzzone eindringen kann.

Weitere Versuche haben ergeben, daß der Energiestrahle in bevorzugter Weise vor der Auftreffzone geteilt wird, wobei ein erster Teilstrahl in der Erwärmungs- und Aufschmelzzone und ein zweiter Teilstrahl hinter die Erstarrungsfront zur thermischen Gefügebehandlung gelenkt wird. Mit diesem Verfahren läßt sich die Gefügeausbildung gezielt steuern.

Eine weitere Gefügesteuerung ist dadurch möglich, daß der Energiestrahle in der Erstarrungsfront mit einer spezifischen Leistung von $< 1 \text{ KW/cm}^2$ intermittierend auf die Werkstückoberfläche gerichtet ist. Dabei hat sich herausgestellt, daß die Einwirkungszeit des Energiestrahlens im Schmelzbad zur Lösung und homogenen Verteilung der Hartstoff- oder intermetallischen Phasen zwischen 0,02 und 1 Sekunde liegt.

Die genannten Anforderungen werden durch einen Diodenlaser von $> 3 \text{ KW}$ erfüllt, der eine einstellbare Linienfokus-Breite aufweist. Hiermit kann vor Beginn und am Ende einer Beschichtung der Energiestrahle in der Linienfokus-Breite quer zur Vorschubrichtung reduziert werden. In analoger Weise ist auch die Pulvermenge steuerbar, so daß bei einer flächigen Behandlung nur geringe Überschneidungen der zugeführten Pulvermenge bzw. der eingestrahlten Energie festgestellt wurden.

Sofern das Werkstück als Hohlzylinder ausgebildet ist, sollte es bevorzugt in Wannenlage um den Energiestrahle rotieren, so daß

der Energiestrahle, der in bezug auf die Rotationsrichtung ortsfest gehalten wird, eine kontinuierliche Vorschubrichtung während der Rotation in Richtung der Rotationsachse zur Erzeugung einer flächigen Einlegierungszone vollzieht.

Zur Durchführung des Verfahrens wurden Vorrichtungen entwickelt, die für großtechnische Bearbeitungen von Werkstücken und Bauteilen geeignet sind. Dazu besteht die Vorrichtung aus einer Werkstückspannvorrichtung, auf der ein Werkstück über Indexbohrungen und/oder über Bearbeitungsflächen ausgerichtet und eingespannt wird. Auf die Bearbeitungsflächen werden in Zylinderachsenrichtung Energiestrahleinrichtungen eingefahren und mit einem fokussierbaren Strahlkopf und einer Pulverzuführung auf die Bearbeitungsfläche gerichtet. Es hat sich als besonders günstig erwiesen, daß der Energiestrahle in das Werkstück einfahrbar ist und auf der drehbaren, mit einer Antriebseinheit verbundenen Werkstückspannvorrichtung angeordnet ist, wobei der Energiestrahle als Linienfokus senkrecht auf das in Wannenlage rotierende Werkstück gerichtet ist.

Wenn mehrere Energiestrahleinheiten versetzt zueinander auf die Bearbeitungsfläche des in Wannenlage rotierenden Werkstücks gerichtet sind, sollte die Energiestrahleinheit die Bearbeitungsfläche zeilenförmig überstreichen. Dabei ergibt sich eine flächige Einlegierungszone, die je nach Begrenzungseinrichtung der Vorrichtung und/oder Drehbewegung des Bauteiles dimensioniert werden kann.

Vorteilhafterweise überstreichen die Energiestrahleinheiten mehrere Zeilen der Bearbeitungsfläche gleichzeitig. Dadurch werden die Bearbeitungszeiten verkürzt und die behandelten Oberflächen gleichmäßigen sich.

Zur Durchführung im großtechnischen Maßstab wurde eine Energiestrahleinrichtung entwickelt, die bezogen auf die Drehrichtung des Bauteils ortsfest innerhalb der drehbaren, mit einer

Antriebseinheit verbundenen Werkstückspannvorrichtung angeordnet ist. Der Energiestrahle ist aus dem Energiestrahlskopf im rechten Winkel auf die Werkstückoberfläche gerichtet, während die Pulverzuführungseinrichtung seitlich neben dem Energiestrahle angeordnet ist. Die Pulverzuführung kann stechend oder schleppend erfolgen, d.h. in Vorschubrichtung gesehen vor dem Energiestrahle oder hinter dem Energiestrahle angeordnet sein. Es ist auch möglich, daß das Pulver auf die dem Strahl zugewandten Oberflächen entweder geblasen oder in Schwerkraftrichtung lose aufgerieselt werden.

Für die Herstellung von wendelförmigen oder anderen geometrischen Führungen des Linienfokusses sollte die Antriebseinheit für das Werkstück eine variable Drehzahl ermöglichen. Dabei kann die Vorschubrichtung der Energiestrahlvorrichtung und der Pulverzuführung in Rotationsachsrichtung mit der Drehgeschwindigkeit des Werkstückes kombiniert werden.

Mit dem beschriebenen Verfahren sind oberflächenlegierte, zylindrische oder teilzylindrische Bauteile herstellbar. Sie bestehen aus einer Aluminiummatrixgußlegierung und einer bis an die Bauteiloberfläche reichenden Ausscheidungszone aus einer Aluminium-Basislegierung mit ausgeschiedenen Hartphasen. Zwischen Matrix und Ausscheidungszone liegt eine durch primäre Hartphasen übersättigte, eutektische Zone (Übersättigungszone) vor, wobei der Härteanstieg von der Matrix bis zur Bauteiloberfläche stufenweise erfolgt. Besonders günstige Verhältnisse lassen sich erreichen, wenn die Matrixlegierung vom Typ AlSiCu untereutektisch ist und in der übersättigten, eutektischen Übergangszone eine Legierung vom Typ AlSi mit fein ausgeschiedenen Primärsiliziumphasen kleiner $1\text{ }\mu$ vorliegt, während in der Ausscheidungszone Primärsiliziumphasen von 2 bis $20\text{ }\mu$ vorliegen. Dann lassen sich Härteanstiege bis zur Bauteiloberfläche von mindestens 200 % erreichen.

Das Schichtdickenverhältnis in einem erfindungsgemäßen Bauteil beträgt zwischen Ausscheidungszone und Übergangszone mehr als 2 : 1, gemessen von der Oberfläche des Bauteils in Richtung Aluminiummatrix. Es lassen sich dabei Härteanstiege zwischen der Matrix und der Bauteiloberfläche im Bereich von 1 : 1,5 : 2 bis 1 : 2 : 3 erreichen.

VAW aluminium AG
Georg-von-Boeselager-Str. 25
53117 Bonn

28. Februar 2000
MW/scb (all01615)
P99927DE00

Oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches
Bauteil, Verfahren und Vorrichtung zu seiner Herstellung

Bezugszeichenliste

| | |
|------|-----------------------------|
| 1 | Aluminiummatrix |
| 2 | Übergangszone |
| 3 | Ausscheidungszone |
| 4 | Bauteiloberfläche |
| 5-19 | - |
| 20 | Aufschmelzfront |
| 21 | Lösungs- bzw. Umschmelzzone |
| 22 | Erstarrungsfront |
| 23 | Energiestrahl |
| 24 | Pulvermenge, Pulver |
| 25 | - |
| 26 | Bauteil |
| 27 | Vorschubbewegung |
| 28 | Pfeile |

Oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches
Bauteil, Verfahren und Vorrichtung zu seiner Herstellung

Zusammenfassung

Ein oberflächenlegiertes, zylindrisches oder teilzylindrisches Bauteil besteht aus einer Aluminiummatrixgußlegierung und einer bis an die Bauteiloberfläche reichenden Ausscheidungszone aus einer Aluminium-Basislegierung mit ausgeschiedenen Hartphasen. Zwischen Matrix und Ausscheidungszone liegt eine durch primäre Hartphasen übersättigte, eutektische Zone, wobei der Härteanstieg von der Matrix bis zur Bauteiloberfläche stufenweise erfolgt. Zur Herstellung eines derartigen Bauteiles wird ein Energiestrahл mit einer linienförmigen Strahlfläche auf eine Werkstückoberfläche gerichtet, die Werkstückoberfläche aufgeschmolzen und ein Hartstoff- oder ein Legierungspulver in die aufgeschmolzene Oberfläche zugeführt, wobei in der Auftreffzone des Energiestrahls ein lokal begrenztes Schmelzbad mit einer Erwärmungs- und Aufschmelzfront, einer Lösungszone und einer Erstarrungsfront erzeugt wird, seitlich vom Energiestrahл eine Si-Pulvermenge oder Hartstoffpulvermenge in Schwerkraftrichtung aufgebracht und mit der Vorschubbewegung des Werkstücks koordiniert in einer Breite zugeführt wird, die der Breite des Linienfokus entspricht, die auf der Werkstückoberfläche zugeführte Si-Pulvermenge in der Erwärmungsfront des Schmelzbades mit einem Energiestrahл mit einer Wellenlänge von 780 - 940 nm aufgeheizt und im Kontakt mit der verflüssigten Matrixlegierung die Pulvermenge sofort in das Schmelzbad eindiffundiert wird, durch den Energiestrahл mit einer spezifischen Leistung von mindestens 10^5 W/cm^2 eine Konvektion in der Lösungszone erzeugt wird, so daß der Homogenisierungsvorgang in der Schmelzzone

beschleunigt wird, wobei der Linienfokus solange auf die Lösungszone einwirkt, bis das Hartstoff- oder Legierungspulver im Schmelzbad gleichmäßig verteilt ist, das gleichmäßig verteilte Pulvermaterial, welches metallurgisch in Lösung gegangen ist, einer gerichteten Erstarrung in der Erstarrungsfront mit hoher Abkühlungsgeschwindigkeit von 200 - 600 K/sec unterworfen wird bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 500 - 5000 mm/min.

Figur 2

Fig. 1

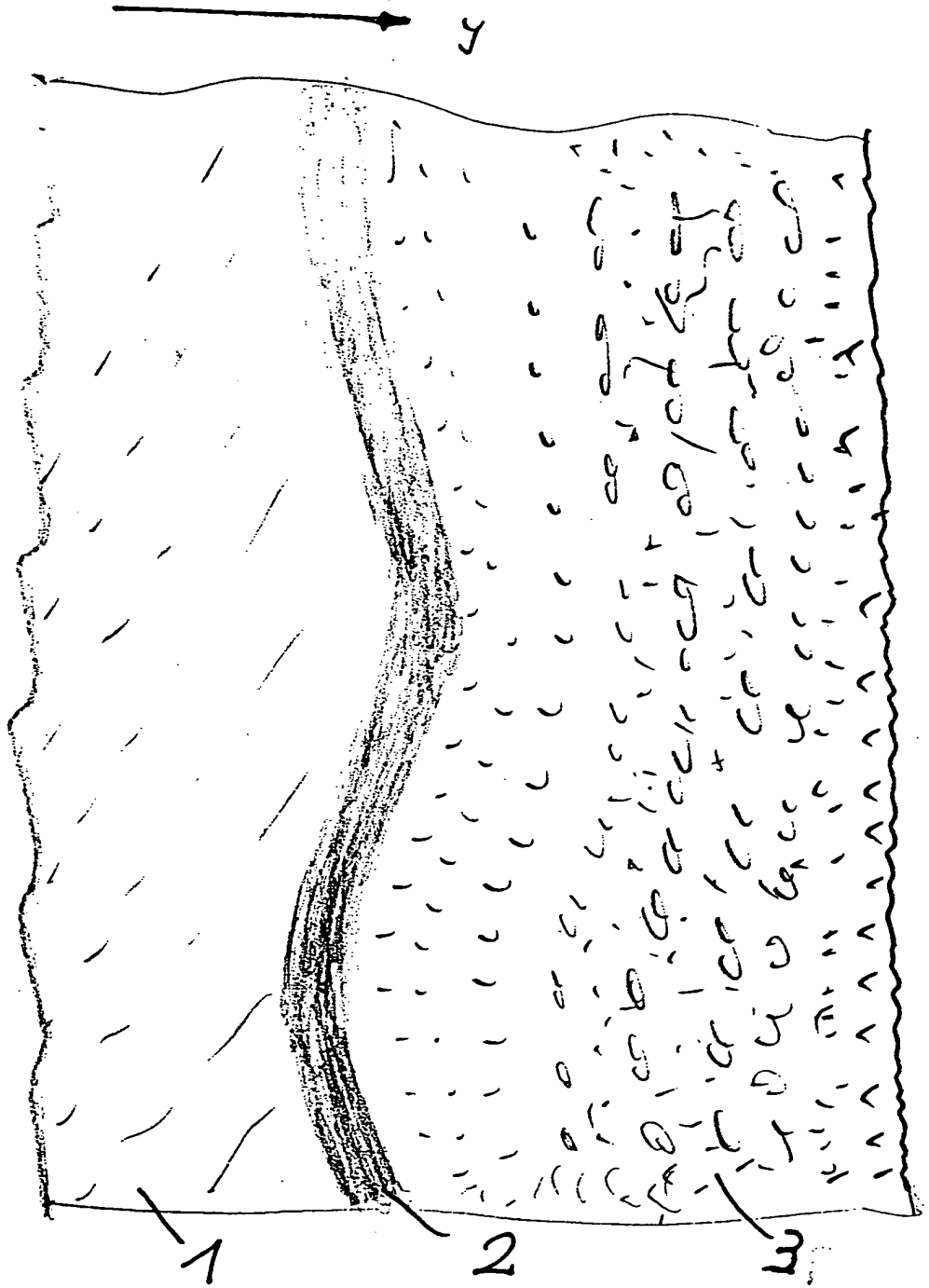


Fig. 3

